

# **IT-betonin todellisen muottipaineen määrittäminen ja nousu- nopeuden sovittaminen muotin kapasiteettiin**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennustekniikka

kevät, 2018

Juhani Romu

Rakennustekniikka  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Juhani Romu	<b>Vuosi</b> 2018
<b>Työn nimi</b>	IT-betonin todellisen valupaineen määrittäminen, sekä nousunopeuden sovittaminen muotin kapasiteettiin	
<b>Työn ohjaajat</b>	Hannu Fagerlund, Esa Isokääntä, Jaakko Rekola.	

---

## TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli selvittää IT-betonia käytettäessä sen todellinen muottiin kohdistuva valupaine.

Työ tehtiin YIT:n Triplan työmaalla yhteistyössä Peri Suomi Oy:n sekä Ruskon betonin kanssa.

Työstä saatavilla mittaustuloksilla saatiin suunniteltua isompia nostonopeuksia käytettäessä IT-betonia. Pystyrakenteiden betonointia pystytettiin tehostamaan ajallisesti ja taloudellisesti. Tehostaminen onnistuu betonointiin vaaditun työryhmän pienenemisenä sekä valuajan lyhenemisenä. Mittaustuloksia tarkasteltiin työmaatekniikan näkökulmasta.

Opinnäytetyössä paneuduttiin kustannusten ja resurssien säästöihin laskelmilla, joissa teoreettisen seinän betonointiaikaa ja työkunnan kustannusta verrattiin perinteiseen betonin tiivistämiseen ja IT-betonointiin.

**Avainsanat** IT-betoni, betonointi, valunostonopeus

**Sivut** 18 sivua

Civil Engineering  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Juhani Romu	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	IT to determine the actual pressure of the concrete, as well as to adjust the rate of rise to the mold capacities	
<b>Supervisors</b>	Hannu Fagerlund, Esa Isokääntä, Jaakko Rekola	

---

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to find out when IT Concrete uses its actual mold pressure.

The work will be carried out at YIT's Triplan site, in cooperation with Peri Suomi oy and Ruskon Betoni Oy.

Measurements that are available from work can be made with IT Beton when used with higher lifting rates. Concreting vertical structures can be enhanced temporally, both time economically and economically.

Improvement can be achieved by decreasing the required workgroup for concretization, as well as by lowering the cost. The measurement results are considered from the point of view of the construction site technician.

The thesis deals with cost and resource savings with calculations in which the theoretical wall concretization time and the cost of working are compared with conventional concretization for IT

**Keywords** IT Concrete, Concreting and Rolling Rate  
Use for example a general thesaurus (YSA)

**Pages** 18 pages including appendices 0 pages

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	1
1.1 Pystyrakenteiden betonointi .....	1
1.2 IT-betonin käyttö pystyrakenteissa .....	1
2. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET .....	2
3. BETONIN KÄYTÖN HISTORIA.....	3
3.1. Yleisesti .....	3
3.2 Betonin käytön historiaa Suomessa .....	3
3.3.1 Pystyrakenteiden betonoinnin historia.....	4
3.3.2 Pystyrakenteiden betonointi 2000-luvulla.....	5
4. MALLIKOHDE JA KÄYTETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT SEKÄ TYÖTAVAT.....	6
4.1 Malliseinän betonointi täryttimillä .....	6
4.1.1 Työkunnan koko .....	7
4.1.2 Työn kesto .....	7
4.2 Malliseinän betonointi IT-massalla.....	7
4.3 Yhteenveto työmenetelmien välillä .....	8
5. TULOKSET.....	8
5.1 Tuloksista yleisesti .....	8
5.2 Muottipaineen arvoja laskennallisesti .....	10
5.3 Muottipaineen arvoja mitattuna .....	10
5.3.1 Koe 1 IT-massa .....	10
5.3.2 Koe 2 IT-massa .....	10
5.3.3 Koe 3 IT-massa .....	10
5.3.4 Koe 4 IT-massa .....	11
5.3.5 Koe 5 ja 6 normimassa S4 .....	11
5.3.6 Todelliset mitatut muottipaineet.....	12
6. MENEKKI- JA RESURSSIVERTAILU .....	12
6.1 Resurssien vertailu ajallisesti sekä kokonaishinta rakenteelle.....	12
6.1.1 Koe 1 IT-massa .....	13
6.1.2 Koe 2 IT-massa .....	13
6.1.3 Koe 3 IT-massa .....	14
6.1.4 Koe 4 IT-massa .....	14
6.1.5 Koe 2 normimassa S .....	14
6.2 Menekki- ja resurssitaulukko.....	15
7. YHTEENVETO.....	15
8. POHDINTA.....	16
LÄHTEET .....	19

## 1. JOHDANTO

### 1.1 Pystyrakenteiden betonointi

Suomessa rakenteiden betonoinnin työtavat ovat peräisin 1950–1960-lukujen vanhojen betonilaatujen työstämisestä.

Pystyrakenteiden betonoinnissa tiivistäminen suoritetaan täryttimillä, joita on sekä muotin sisäpuolisia että ulkopuolisia.

Sisäpuoliset täryttimet ovat sauvamaisia, joita työntekijät nostavat käsivoimin betonin pintaa nostettaessa. Työn on monotonista toistoa. Työ on ergonomisesti raskasta sekä ruumiille että nivelistölle. Olosuhteet pystyrakenteiden betonoinnissa ovat yleensä vetoisat, ja usein myös joko sateet tai helteiset olot aiheuttavat haittaa työlle.

Ulkopuolisina täryttiminä käytetään yleisesti paineilmalla toimivia muottitäryttimiä. Täryttimien käyttäminen on raskasta niiden siirtelyn takia. Ulkopuolisia täryttimiä käytettäessä tarvitaan joko telineet tai henkilönostimet, joilla saadaan siirrettyä täryttimet turvallisesti muotin eri korkeuksiin betonoinnin edistyessä. Täryttimiä käytettäessä betonirakenteen laatuun vaikuttaa suuresti työkunnan ammattitaito. Valuvirheiden mahdollisuus on konkreettinen. Täryttimillä betonin tiivistäminen on työvoimavaltaista, jolloin kustannukset betonoinnissa ovat merkittävä kuluerä. Perinteisesti betonoimalla muottityötä pidetään helpompana. Tiiveysvaatimukset muotilla eivät ole ihan niin tiukat kuin IT-betonia käytettäessä.

### 1.2 IT-betonin käyttö pystyrakenteissa

IT-betonin käyttäminen pystyrakenteiden betonoinnissa säästää työkuntaa ruumiillisilta rasituksilta. IT-betonin käyttäminen pystyrakenteiden betonoinnissa on laadukkaan lopputuloksen kannalta varmempaa ja betonin tiivistyminen on ennakoitavampaa. Työkunnan koko IT-betonia käytettäessä on merkittävästi pienempi. Kuluja saadaan täten pienemmiksi työn osalta, mutta materiaali on vastaavasti hieman kalliimpaa (Mattiila 26.03.2018). Tämä kustannusten yhteensovittaminen on kustannustehokkaan työsuunnittelun lähtökohtana, jossa tulee verrata rakenteen kokonaiskustannus.

IT-betonoinnin työmenetelmää tulee tulevaisuudessa kehittää, jotta saadaan kaikkien betonoinnin osapuolten vahvuusalueet käytettyä täysimää-

räisesti. Työmenetelmä saattaa muuttaa perinteistä tapaa suorittaa pystyrakenteiden betonoinnit. Muottityön vaativuus ei eroa IT-betonoinnissa merkittävästi perinteisestä betonoinnista. Yleisesti suuremmilla työmailla käytetään nykyisinkin jo järjestelmämuottia, jonka tiiveys ei merkittävästi eroa betonointitavasta riippumatta. RIL 147-2006:n mukaan ”IT-betonia käytettäessä on muotit suunniteltava betonin aiheuttamalle hydrostaattiselle paineelle, ellei erillisselvityksin tai koevaluin ole toisin osoitettu. Itse tiivistyvän betonin (hyrostaattinen paine) osalta on aina myös noudatettava valmistajan ohjeita.” Muottipaine IT-betonia käytettäessä lasketaan kaavasta  $p = H \times 24 \text{ kN/m}^3$ , jossa H on muotin korkeus ja 24 kN on betonin ominaispaino (BY 201 2018).

## 2. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET

### 2.1 Valupaine

Tutkimuksen tavoitteena on saada mitattuja muottipaineen arvoja pystyrakenteilla, joiden mukaan voidaan mitoittaa muottien kestävyys ja betonointaessa nousunopeus rakenteessa. Nämä tulokset ovat suuntaa-antavia. Jos nousunopeus on suurempi kuin laskennallisen valupaineen kaavalla olisi sallittua, muottiin pitää asettaa mittauslaitteisto, jolla saadaan todellinen muottipaine määritettyä.

Näiden mitattujen tulosten jälkeen pystytään muottisuunnitelmaan määrittämään nostonopeus annettujen maksimipaineiden osalta. Tällöin muottisuunnitelmista tulisi räätälöity valukohtainen, ja se tulee liittää betonointisuunnitelman osaksi. Tällöin se olisi osana työmaan dokumentointia betonipöytäkirjoittain. Tällä dokumentoinnilla varmistetaan, ettei järjestelmämuottia ole rasiutettu yli sen kestävyys. Muotti säilyttää tällöin myös turvallisuuden seuraaviin valukohteisiin.

### 2.2 Kustannukset

Tästä opinnäytetyöstä saatavista tuloksista on tarkoitus johtaa myös taloudellinen vertailu ns. perinteisen betonoinnin ja IT-betonoinnin välillä.

Taloudellinen ja resurssivertailu tehdään ns. normiseinän määrän, mittojen sekä betonointiin käytetyn ajan funktiona. Tarkastelussa tutkitaan myös betoniaseman eli siirtokaluston resurssien tasaamisen hyöty betonin toimittajan näkökulmasta.

Tutkimuksessa käydään pintapuolisesti läpi nykyisien määrällisesti suurien raudoitemäärien aiheuttama betonoinnin vaikeutuminen. Laadukkaan lopputuloksen saamisessa betonointaessa perinteisesti on haasteita. Tiheän ja määrällisesti suuren raudoituksen johdosta raekokoa joudutaan pienen-

tämään sekä notkeutta lisäämään. Näistä toimenpiteistä huolimatta rakenteeseen on vaarana jäädä ”rotankoloja”. Tällöin IT-massan käyttö ras-  
kaasti raudoitetuissa rakenteissa on vartenotettava työmenetelmä.

### 3. BETONIN KÄYTÖN HISTORIA

#### 3.1. Yleisesti

Rooman Pantheon on yksi tunnetuimmista betonirakenteista historiassa. Roomalaisessa betonissa sideaineena käytettiin kalkkia ja portsolaania eli kivituhkaa, joka sisälsi runsaasti piitä.

Betonin varhainen valmistustapa jäi unohduksiin keskiajalla, koska tulivuor-  
tuhkaa oli saatavilla vain tietyillä alueilla.

Betonia ryhdyttiin käyttämään uudelleen enemmän portlandsementin  
keksimisen jälkeen 1800-luvulla. Käyttö laajeni nopeasti 1900-luvulla. (Be-  
toniteollisuus ry n.d.)

#### 3.2 Betonin käytön historiaa Suomessa

1800-luvun aikana Suomessakin ryhdyttiin tekemään betonirakenteita.  
1900-luvun alkupuolen teollistuminen yhdessä kaupungistumisen kanssa  
loi Suomeen betonirakentamiselle otollisen kasvuympäristön. (Betoniteol-  
lisuus ry 18.04.2018)

Betonirakenteiden käyttöä laajennettiin siltoihin, vesitorneihin, patoihin  
sekä arkkitehtonisesti vaativiin rakennuksiin. Tästä esimerkkinä ovat mm.  
Alvar Aallon funktionalistiset työt 1930-luvulla. (Betoniteollisuus  
18.04.2018)

Salpalinjan rakentaminen 1930- ja 1940-lukujen vaihteessa toimi betonira-  
kentamisen veturina Suomessa. Salpalinja on edelleen Suomen suurin ra-  
kennustyömaa kautta historian. Suurimmillaan työmaan vahvuus oli v.  
1941 35 000 työntekijä sekä 2 000 muonituslotta. Salpalinja on pituudel-  
taan 1200 km, ja siihen on rakennettu satoja linnoitteita. (Wikipedia  
18.04.2018)

Salpalinjaa rakennettaessa professori Arvo Nykänen kehitti betonin suh-  
teutuksessa käytetyn nomogrammin. Nomogrammilla voitiin suhteuttaa  
betoni raaka-aineiden tilavuuden ja painon mukaan. Nomogrammin avulla  
Salpalinjan betonimassat saatiin suunniteltua riittävän lujiksi. Nomogram-  
min Nykänen sai valmiiksi 1945. (Finnsementti 18.04.2018.)

Sodan jälkeen Salpalinjan linnoitustöiden rakentamisessa käytetyt työmaatekniikat siirtyivät sulavasti siviilirakentamisen käyttöön. Työmaatekniikoita muokattiin siviilirakentamiseen sopiviksi. (Wikipedia n.d.)

Ammattitaitoista betonirakentamisen työvoimaa oli linnoitustöiden jälkeen rakennusteollisuuden käyttöön yllin kyllin. Suomessa alkoi sodan loputtua jälleenrakentamisen aika, jolloin sodassa tuhoutuneita rakennuksia rakennettiin uudelleen ja kaupunkeihin tehtiin asuntoja rintamalta palaa-ville sotilaille. Samalla sotakorvausten maksamiseen tarvittiin tehtaita, joissa saatiin tehtyä rauhansopimuksessa määritellyt tavarat.

Nykänen uudisti nomogrammin vielä 1955 voimassa olevien betoninormien mukaiseksi. Tätä menetelmää käytetään vielä nykypäivänäkin. (Finnsementti 18.04.2018)

### **3.3.1 Pystyrakenteiden betonoinnin historia**

Pystyrakenteiden betonoinnissa on ollut nopeaa kehitystä 1950-luvulta nykypäivään. Vielä 1950-luvulla betoni siirrettiin kottikärryillä muottiin. Tällöin vaadittiin telineen tekijöiltä suurta ammattitaitoa, jotta telineet olivat riittävän kantavat sekä kulkeminen jouheaa eri korkeuksille. Työ oli raskasta ja kuluttavaa tekijöilleen. Tätä työmenetelmää käytettiin vielä 1960-luvullakin. Tällöin työmaalla oli oma betoniasema eli mylly, jossa työmaan betoni valmistettiin.

1970-luvulla ryhdyttiin käyttämään torninosturien yleistyessä valujassikoita. Alkuun betoni valmistettiin työmaalla. Valmisbetoniasemien tullessa markkinoille ryhdyttiin betonia ottamaan vastaa työmaalle betonin välivarastoon altaaseen, josta se valutettiin jassikkaan, jota siirrettiin torninosturilla. Betoniautot olivat ns. allasautoja, joilla betoni kipattiin työmaan altaaseen. Jassikkaa käytetään vielä nykypäivänäkin pienissä betonointikohteissa. Tässä menetelmässä betonimassa valutettiin jassikalla painovoimaisesti pystyrakenteiden muottiin. Jassikoita on monia erimallisia. Menetelmä oli rasituksiltaan jo paljon kevyempi, mutta kuitenkin vieläkin voimaa vaativaa, raskasta työtä. 1970-luvulla Suomeen saapuivat ensimmäiset betonipumput, mutta vielä silloin ne eivät yleistyneet työmailla.

1980-luvulla Suomessakin betonin siirtämisessä otettiin käyttöön hydraulipumput ja betonin ajoon betoniasemalta pyörivät betoniautot. Tällöin betonoinnin tehokkuus nousi merkittävästi. Menetelmä on nykyäänkin pumppujen koon kasvamisen johdosta yleisin, ja se tulee olemaan tulevaisuudessakin yleisin betonin siirtomenetelmä pystyrakenteissa. Tässä menetelmässä betoni pumpataan letkulla muottiin. Betoni saadaan siirrettyä hydraulisella paineella pumpun puomin yläosaan, josta betoni siirtyy letkua pitkin painovoimaisesti muottiin.



Suomeenkin ovat nyt saapuneet ns. kiinteät betonipumput, jotka nousevat tehtävän rakennuksen mukana ylöspäin rakenteiden valmistuksen kanssa. Tässä menetelmässä betoni siirretään kiinteää teräslinjaa pitkin pumpulle, jolla betoni saadaan pystyrakenteisiin tehokkaasti. Näitä kiinteitä betonipumppuja tullaan Suomessa käyttämään tulevaisuudessa enemmänkin, koska Suomeenkin suunnitellaan jo pilvenpiirtäjiä. Tällä menetelmällä saadaan toteutettua rajattoman korkeita rakennuksia, koska betonipumppuja voidaan sijoittaa rakenteisiin siten, että vain taivas on rajana.

### **3.3.2 Pystyrakenteiden betonointi 2000-luvulla**

Pystyrakenteet betonoidaan alalla yleisesti pumppaamalla käyttäen letkua sekä tiivistämällä betoni täryttämällä.

Tärytys tehdään joko muotin sisältä tai ulkopuolelta.

Sisäpuolisessa tärytyksessä betonin tiivistämisessä käytetään rakenteen ja raudoitteen dimensioihin sopivaa sauvatärytintä eli vibraa. Ulkopuolisessa tärytyksessä käytössä ovat pääsääntöisesti paineilmakäyttöiset muottitäryttimet eli moserit.

Täryttämällä tiivistämisessä poistetaan ylimääräinen ilma rakenteessa olevasta betonimassasta. Tämä on työvoimavaltaista ja raskasta, ergonomisesti rasittavaa työtä. Työ on ollut betonirakentamisen alusta asti tällaista, hieman jopa tehotonta miestyötä.

IT-betonin käyttäminen on vielä vähäistä paikallavalurakentamisessa. Syynä ovat kenties uskomukset, hinta, norminmukainen IT-betonin aiheuttama muottipaine sekä muotin tiiviysvaatimus.

Hydrostaattinen paine on laskennallisesti suuri käytettäessä IT-massaa. Tämä on vaatinut muoteilta merkittävän suurta lujuutta tai vastaavasti nostonopeuden pienuutta betonoitaessa rakennetta.

Muotin tiiveysvaatimus on kuitenkin likimain sama molemmilla työtavoilla, jos tavoitellaan laadukasta puhdasvalupintaa.

IT-betonia käytetään Suomessakin melko yleisesti elementtituotannossa. Sitä käytetään saneerauskohteissa, joissa mantteloidaan vanhoja rakenteita. Tällöin saadaan dimensioiden kasvu pidettyä maltillisina, jolloin käytettävät netto pinta-alat huoneistoissa eivät pienene.

#### 4. MALLIKOHDE JA KÄYTETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT SEKÄ TYÖTAVAT

Mallikohteena työssä käytettiin YIT:n Tripla-hankkeen pysäköintilohkon mantteloitavaa RD-paaluseinän vastavalua. Kohteessa ko. seiniä valetaan myös perinteisellä tärytystiivistämisellä. Malliseinän mitat ovat  $h = 2,65 \text{ m}$ ,  $d = 0,2 \text{ m}$  ja  $L = 18 \text{ m}$ ; betonimassan määrä noin  $10 \text{ m}^3$ . Kohteessa mitataan muottipaineita myös perinteisen tavan betonoinnista vastavaluna.

Betonointi suoritetaan rakentamalla siirtolinjasto valukohteelle tapauskohtaisesti joko teräslinja plus kumilinja -linjastolla tai pelkällä kumilinjastolla.

Mittauskalustona käytetään Sauter FH-L -anturia, jonka mittauskapasiteetti on 200 kN; tämä skaalaus on muottisuunnittelun ohjeen mukaisen yli  $100 \text{ kN/m}^2$  mukaan (RIL 147-2006). Mittaustulokset saadaan sähköisen päätelaitteen Sauter RS 232 -asteikon ja mittausarvojen mukaan.



Kuva 1 Muottipaineen mittauskalusto (<https://www.sauter.eu/shop/en/measuring-instruments/force-measurement/FH-L/> 16.4.2018).

##### 4.1 Malliseinän betoinointi täryttimillä

Malliseinän betonoinnissa ei oteta huomioon linjaston rakentamista kohteeseen, koska se on menekiltään sama kummassakin tapauksessa.

#### 4.1.1 Työkunnan koko

Työkunta sisäisillä täryttimillä (vibroilla):

- 1 RAM letkussa levittämässä
- RAM tiivistäminen vibroilla
- 1 BTJ
- 1 betonipumppari.

Työkunta ulkoisilla täryttimillä (mosereilla):

- 1 RAM letkussa
- RAM tärytyksessä mosereilla
- 1 BTJ
- 1 betonipumppari.

#### 4.1.2 Työn kesto

Nousunopeudella 1 m/ h työn kesto valmisteluineen on 3 h, josta työkunnan koon mukaan menekki on

- täryttimillä 5 x 4 h =20 h
- mosereilla 4x 3h= 12 h.

Työmenekki on

2 h/m<sup>3</sup> vibroilla

1,2 h/m<sup>3</sup> mosereilla.

Työmenekkiä tullaan vertaamaan taulukossa pohdintaosiossa.

Ulkopuolista täryttämistä ei tässä työssä tarkastella, koska kalustoa ei ollut saatavilla mittausten ja mantteloinnin aikataulun takia. Kokemusperäisesti työkunnan koon pieneneminen korreloi kustannuksissa ulkopuolisen tärytyskaluston verran kustannuksia.

#### 4.2 Malliseinän betonointi IT-massalla

Malliseinän betonoinnissa ei oteta huomioon linjaston rakentamista kohteeseen, koska se on menekiltään sama kummassakin tapauksessa.

##### 4.2.1 Työkunnan koko

Työkunta IT-massalla:

- 1 BTJ
- 1 betonipumppari.

Kesto:

- nousunopeudella 1m/h 3 h, josta  $2 \times 3 \text{ h} = 6\text{h}$ .

Työmenekki 0,6 h/m<sup>3</sup>, työmenekki pystytään pienentämään 0,2 h/m<sup>3</sup>.

Jos nousunopeutta nostetaan, vastaavasti työn ja resurssien määrän kustannusten menekki pienenee. Tähän nousunopeuden suurentamiseen otetaan kantaa pohdintaosiossa mittaustuloksiin nojautuen.

#### 4.3 Yhteenveto työmenetelmien välillä

Kustannusvertailussa ei oteta huomioon linjaston rakentamisen kustannuksia, koska ne ovat samat kummassakin tapauksessa. Muottien tuenta on sama kummassakin betonoitimenetelmässä. Muotin tiiveyteen kiinnitetään huomiota IT-betonoinnissa. Patoseinän manttelointi ja seinän betonointi tullaan suorittamaan itsetiivistyvällä ja normaalilla massalla.

### 5. TULOKSET

#### 5.1 Tuloksista yleisesti

Ennen betonoinnin valupaineiden mittaamista aikaa kului mittauskaluston hankkimiseen. Mittausantureita on maailmalla yllin kyllin, mutta niiden Suomeen saaminen kesti noin kaksi viikkoa.

Mittaukseen käytettäviä antureita käytetään monissa eri sovelluksissa ympäri maailmaa. Oikeanmuotoisen ja -arvoisen anturin löytäminen vei siis aikaa noin kolme viikkoa.

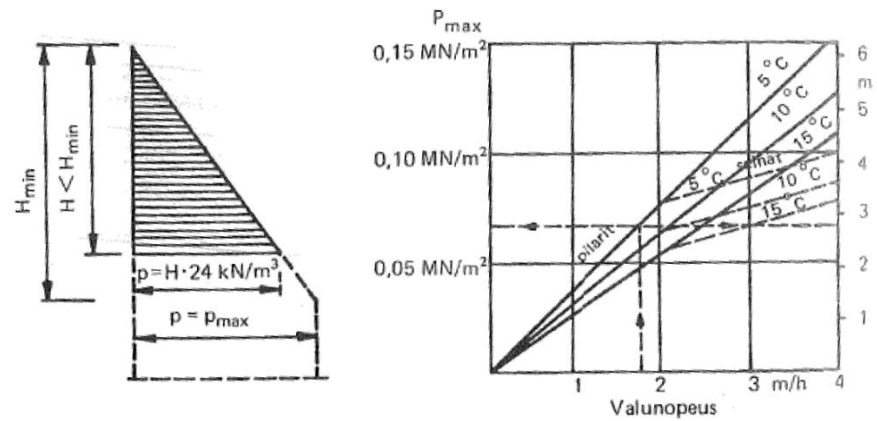
Anturin mittausasteikko on hieman ylimitoitettu, koska hydrostaattisen paineen laskelmien mukaan valupaineet tulisivat ylittämään 100 kN/m<sup>3</sup>.

Mittaustarkkuus kärsii tällä anturilla hieman, n. 5 %, mutta ei merkittävästi.

Mallikohdetta betonoitaessa muottipaineet eivät nousseet merkittävästi ennen kuin muotin yläreuna ”sullottiin” täyteen. Palkissa olivat ilmareiät paineen tasaamiseksi valmiina.

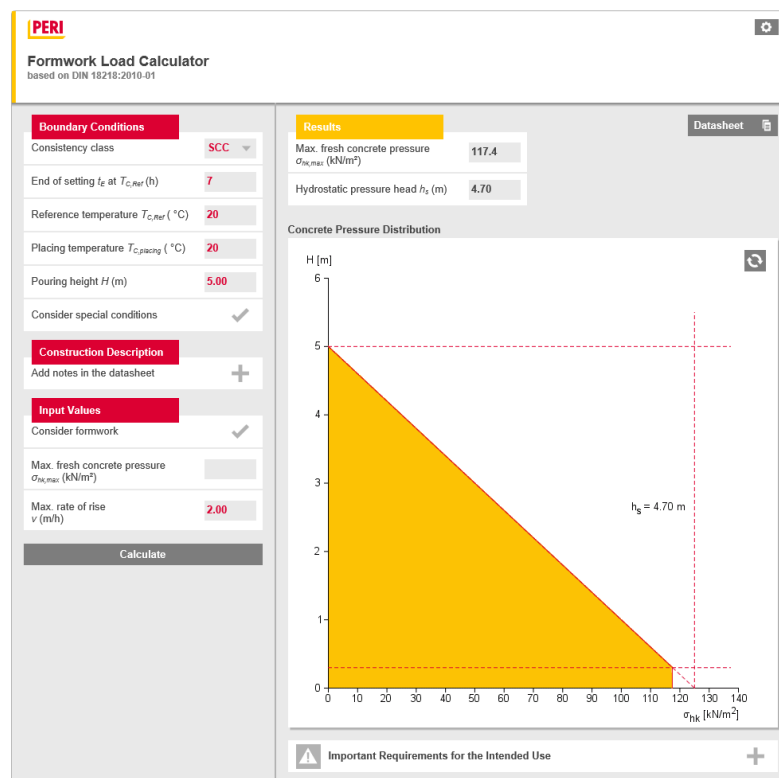
Mantteloitavien seinien betonoinnin yhteydessä päädyttiin mittaamaan muottipaineita myös malliseinää korkeammilla seinillä sekä betonoitaessa normaalilla betonimassalla. Tulokset on koottu taulukkoon, josta muottipaineen arvoja voidaan vertailla.

Seuraavassa on muottipaineen muodostuminen BY 201:n (2004, 232) mukaan:



Kuva 2. Muottipaineen muodostuminen.

Valupaine voidaan määrittää myös Internettiä tai mobiilisovellusta käyttäen. Ohessa kuvana yksi esimerkkisovellus PERI Suomen www-sivuilta.



Kuva 3. Esimerkkisovellus (<https://www.perisuomi.fi/tuoteet/muotin-valupainelaskuri.htm> 16.04.2018.).

## 5.2 Muottipaineen arvoja laskennallisesti

Hydrostaattinen paine  $p = H \times 24 \text{ kN/m}^3$ , jossa

$H$  = muotin korkeus (betonoitava kohteen korkeus)  
 $24 \text{ kN/m}^3$  betonin ominaispaino (BY 201:n mukaan).

## 5.3 Muottipaineen arvoja mitattuna

### 5.3.1 Koe 1 IT-massa

Laskennallinen muottipaine

$$H = 2,4 \text{ m}, p = 2,4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 57,6 \text{ kN/m}^2$$

varmuuskertoimella 1,5 =  $86,4 \text{ kN/m}^2$

Mitattu arvo  $23,5 \text{ kN/m}^3$  nousunopeudella  $2,4 \text{ m/h}$ .

### 5.3.2 Koe 2 IT-massa

$$H = 2,5 \text{ m}, p = 2,5 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 60 \text{ kN/m}^2$$

Varmuuskertoimella 1,5 =  $90 \text{ kN/m}^2$

Mitattu arvo  $20 \text{ kN/m}^2$  nousunopeudella  $1,67 \text{ m/h}$ .

Näiden kahden mittauksen jälkeen päätettiin selvittää korkeamman betonoitavan rakenteen todelliset mitatut muottipaineet.

### 5.3.3 Koe 3 IT-massa

Laskennallinen muottipaine:

$$H = 4,0 \text{ m}, p = 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 96 \text{ kN/m}^2$$

Varmuuskertoimella 1,5 =  $144 \text{ kN/m}^2$

Laskennallisesti muotin rungonkin olisi pitänyt taipua, puhumattakaan vannerin taipumasta. Muotin maksimimuottipaine  $90 \text{ kN/m}^2$ .

Mitattu arvo  $33 \text{ kN/m}^2$  nousunopeudella  $1 \text{ m/h}$ .

Koska arvo  $4,0$ -metrisen seinän osalta oli vieläkin maltillinen, siirryttiin korkeampaan maksimimitaan  $5,4 \text{ m}$ .

### 5.3.4 Koe 4 IT-massa

Laskennallinen muottipaine:

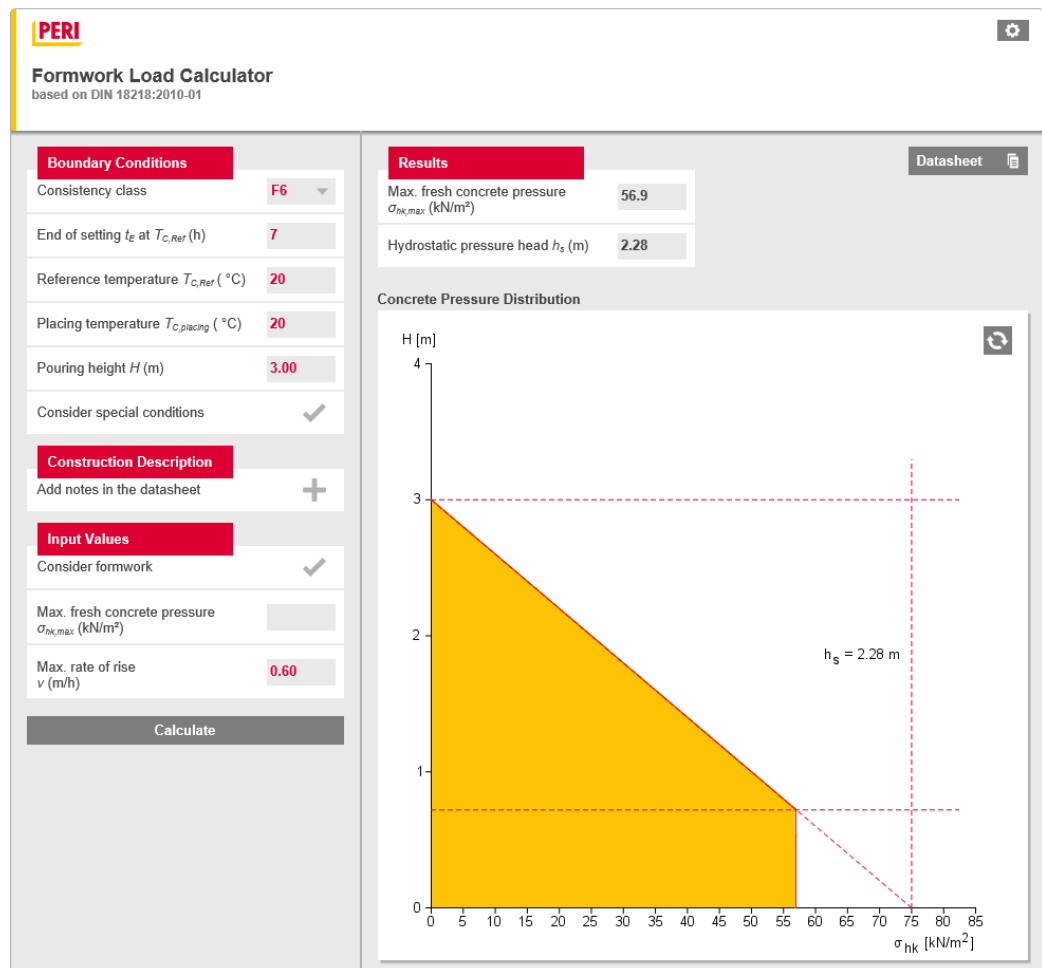
$$H = 5,4 \text{ m}, p = 5,4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 129,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Varmuuskertoimella } 1,5 = 194,4 \text{ kN/m}^2$$

Mitattu arvo  $27 \text{ kN/m}^2$  nousunopeudella  $1,8 \text{ m/h}$ .

It-massoilla mitattujen arvojen jälkeen päätettiin mitata myös normimassalla muottipaineita, jotta saataisiin vertailutuloksia. Kuvassa 4 on esitetty sovelluksesta saatu valupaineen arvo.

Sovellus antaa maksimivalupaineeksi  $56,9 \text{ kN/m}^2$  ilman varmuuskertoimia. Hydrostaattisen paineen korkeudeksi sovellus osoittaa  $2,28 \text{ m}$ . Kaaviosta näkyy myös koko valupaine  $n 75 \text{ kN/m}^2$ .



Kuva 4. Valupaineen arvo (<https://www.perisuomi.fi/tuoteet/muotin-valupainelaskuri.htm> 16.04.2018).

### 5.3.5 Koe 5 ja 6 normimassa S4

Laskennallinen muottipaine:

$$H = 3 \text{ m}, p = 3 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 72 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Varmuuskertoimella } 1,5 = 108 \text{ kN/m}^2$$

Mitattu arvo  $11,1 \text{ kN/m}^2$  nousunopeudella  $0,6 \text{ m/h}$ .

Mitatun arvon jälkeen koe toistettiin täysin samoin mitoin ja nousunopeuksin. Mitattu arvo tällöin oli vain  $8 \text{ kN/m}^2$ .

### 5.3.6 Todelliset mitatut muottipaineet

Taulukossa (Taulukko 1) on esitetty todelliset mitatut muottipaineet.

Taulukko 1. Todelliset mitatut muottipaineet.

Muottipainetaulukko			
	Laskenta-arvo $\text{kN/m}^2$	Mitattu $\text{kN/m}^2$	Nousunopeus $\text{m/h}$
Koe 1	57,6	23,5	2,4
Koe 2	60	20	1,67
Koe 3	96	33	1
Koe 4	129,6	27	1,8
Koe 5	72	11,1	0,6

## 6. MENEKKI- JA RESURSSIVERTAILU

Saatujen muottipainetulosten jälkeen vertailtiin pystyrakenteiden työmenekkiä verraten sitä betonin korkeampaan hankintahintaan. Vertailussa ei ole otettu huomioon betonin pumppauksen tai ajon kustannuksia, koska ne ovat pääpiirteittäin käytettyyn aikaan sidottuina samat molemmissa tapauksissa.

### 6.1 Resurssien vertailu ajallisesti sekä kokonaishinta rakenteelle



Resurssien kustannus on mitoitettu toteutuneiden työaikojen mukaan. Betonin hintana käytetään yleistä betonin keskiarvohintaa. Todellista betonin hintaa ei tässä työssä voi sopimusten salassapitopykälien mukaan ilmoittaa todellisina.

Käytettävät suureet:

H = muotin/rakenteen korkeus

L = muotin leveys

d = rakenteen paksuus

V teoreettinen betonimenekki

$$V = H \times L \times d$$

Taksoja (AIV 0 %):

BTJ 65 €/h

pumppukuski 45 €/h

RAM 45 €/h

betoni C35/45#16 S4 120 €/h

betoni C35/45 # 16 IT 138 €/h

IT-betonin hintalisä n. 15 % Ruskon betonin mukaan.

#### 6.1.1 Koe 1 IT-massa

H = 2,40 m

L = 18,00 m

d = 0,20 m

$V = 2,4 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 8,64 \text{ m}^3$

työkunta 1 kpl BTJ ja 1 kpl pumppukuski

työaika 2 h

työkustannus 2 h x (1 BTJ + 1 pumppukuski)

220,00 €

betoni 9,5 m<sup>3</sup>, sis. pumpun perät yms.

1.311,00 €

**kokonaiskustannus**

**1.531,00 €**

kustannus/teoreettinen betonim<sup>3</sup>

**177,20 €**

#### 6.1.2 Koe 2 IT-massa

H = 2,50 m

L = 18,00 m

d = 0,20 m

$V = 2,5 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 9 \text{ m}^3$

työkunta 1 kpl BTJ ja 1 kpl pumppukuski

työaika 2,5 h

työkustannus 2 h x (1 BTJ + 1 pumppukuski)

252,50 €

betoni 10 m <sup>3</sup> , sis. pumpun perät yms.	1.380,00 €
<b>kokonaiskustannus</b>	<b>1.632,50 €</b>
kustannus/teoreettinen betonim <sup>3</sup>	<b>181,38 €</b>

### 6.1.3 Koe 3 IT-massa

H = 4,00 m	
L = 18,00 m	
d = 0,20 m	
V = 4,00 m x 18,00 m x 0,20 m = 14,40 m <sup>3</sup>	
työkunta 1 kpl BTJ ja 1 kpl pumppukuski	
työaika 5 h	
työkustannus 5 h x (1 BTJ + 1 pumppukuski)	550,00 €
betoni 14,4 m <sup>3</sup> , sis. pumpun perät yms.	2.139,00 €
<b>kokonaiskustannus</b>	<b>2.689,00 €</b>
kustannus/teoreettinen betonim <sup>3</sup>	<b>186,74 €</b>

### 6.1.4 Koe 4 IT-massa

H = 5,400 m	
L = 18,00 m	
d = 0,20 m	
V = 5,40 m x 18,00 m x 0,20 m = 19,44 m <sup>3</sup>	
työkunta 1 kpl BTJ ja 1 kpl pumppukuski	
työaika 4 h	
työkustannus 4 h x (1 BTJ + 1 pumppukuski)	440,00 €
betoni 15,5 m <sup>3</sup> , sis. pumpun perät yms.	2.829,00 €
<b>kokonaiskustannus</b>	<b>3.269,00 €</b>
kustannus/teoreettinen betonim <sup>3</sup>	<b>168,16 €</b>

### 6.1.5 Koe 2 normimassa S

H = 3,00 m	
L = 18,00 m	
d = 0,50 m	
V = 3,00 m x 18,00 m x 0,50 m = 27,00 m <sup>3</sup>	
työkunta 1 kpl BTJ ja 1 kpl pumppukuski	
työaika 5 h	
työkustannus 5 h x (1 BTJ + 1 pumppukuski + 4 RAM)	1.740,00 €
betoni 28 m <sup>3</sup> , sis. pumpun perät yms.	3.360,00 €
<b>kokonaiskustannus</b>	<b>5.100,00 €</b>

kustannus/teoreettinen betonim<sup>3</sup>**188,89 €**

## 6.2 Menekki- ja resurssitaulukko

Työaikamenekki ja taloudellinen resurssi on koottu seuraavaan taulukkoon (Taulukko 2).

Taulukko 2. Kustannusvertailu.

	Laatu	Määrä	Työkustannus	Betonin kustannus	Kokonaiskustannus	Kustannus / m <sup>3</sup>
Koe 4	IT	15,5m <sup>3</sup>	440,00€	2829,00€	3269,00€	168,16€
Koe 1	IT	9,5 m <sup>3</sup>	220,00€	1311,00€	1531,00€	177,20 €
Koe 2	IT	10,0 m <sup>3</sup>	252,50€	1380,00€	1632,50€	181,38€
Koe 3	IT	14,4 m <sup>3</sup>	550,00€	2139,00€	2689,00€	186,74€
Koe 5	Normi	28 m <sup>3</sup>	1740,00€	3360,00€	5100,00€	188,89€

## 7. YHTEENVETO

Pystyrakenteiden betonointi IT-massaa käytettäessä näyttää pienen otoksen mukaan edullisemmalta kuin yleisesti käytössä oleva normaalilla betonilla ja täryttimillä toteutettu betonointi. Kustannusten ero oli välillä 1,1 % - 12,3 %, keskimäärin 6,3 %. IT-massan tehokas käyttö tulee sitä edullisemmaksi, mitä suurempi on betonin määrä ko. kohteessa.

Kustannusvertailua tulee tehdä isommalla otosmäärällä sekä eri betonitoimittajien kanssa. Kaikille betonityönjohtajille muodostuu ”näppituntuma” siitä, mikä on kokonaisedullisin ratkaisu mihinkin betonointikohteeseen. IT-betonin käytön lisäämiseksi pystyrakenteiden betonoinnissa tulee jo hankevaiheessa tehdä kustannusvertailut oikeiden kustannusten eikä vanhan vertailupohjan mukaan.

Muottien mitoittaminen hydrostaattisella paineen arvoilla antaa nostonopeuden hitaaksi sekä aiheuttaa epävarmuutta betonityönjohtajan keskuudessa muotin kestävyys osalta. RIL 147 -muottityön ohjeen mukainen

ohje ”itsetiivistyvää betonia käytettäessä on muotit suunniteltava betonimassan aiheuttamalle hydrostaattiselle paineelle, ellei erillisselvityksin tai koevaluin ole toisin osoitettu” näyttää olevan tehokkaampi menetelmä.

Muottipaineen mittaaminen ei ole monimutkaista, koska anturit ovat käytännössä punnitusantureita, joita muokataan vaakatasoiseen mittaukseen soveltuviksi. Pystyrakenteiden betonointi IT-betonilla mahdollistaa työmenetelmän päivittämisen 2010-luvulle. Paikalla tehdyn betonivalun työvoimavaltaisuus on merkittävä kuluerä rakenteen tilaajalle.

## 8. POHDINTA

Rakennusala on valitettavasti melko lailla konservatiivinen uuden työtavan käyttöön ottamisessa. Työmaalla mennään helposti ajattelulla ”näin se on ennenkin tehty”, eikä osata katsoa markkinoilla olevia vanhojen menetelmien yhteensovittamista nykypäivän haasteisiin. Alalle on tulossa uusi sukupolvi, joka suhtautuu asioihin eri tavalla kuin vanhoista agraariyhteiskunnan arvoista kiinnipitävä ikäluokka. Tämä uudenlainen ajattelu antaa mahdollisuuden ottaa hieman kehittyneempiäkin menetelmiä käyttöön. (Isokääntä 03.04.2018)

Kaikista uusista työmenetelmistä huolimatta tulee muistaa vanhat muottityön lainalaisuudet. Betonityönjohtajaksi ei valmistuta pelkästään sovelusten osaamisella eikä teoriaa opiskelemalla. Betonityönjohtajan tulee tulevaisuussakin olla läsnä muottitoita tehtäessä, jotta hän oppii, miten korkealaatuinen betonimuotti työmaalla saadaan aikaiseksi.

IT-massalla pystyrakenteiden betonointiin pitää saada kaikki rakennushankkeen osapuolet mukaan. Hankkeen osapuolista pääurakoitsijan tulee tehdä päätös käyttää uutta menetelmää jo hankevaiheessa, jotta tarjouskyselyt saadaan muotoiltua oikeanlaisiksi. Niissä pitää määrittää perinteisen valutekniikan käyttöä varten optiohinta, jota voidaan käyttää mahdollisissa aikataulullisissa kriittisissä pystyrakenteiden betonoinneissa. Pääurakoitsijan tulee ohjeistaa rakennesuunnittelija ottamaan huomioon mahdolliset valuputket seinien raudoituksissa, jos seinä on laadullisesti ns. ”puhdasvalurakenne”. Tämä asia tulee käydä läpi betonin pumppaamisesta vastuussa olevan betonin toimittajan kanssa. Pumppausurakoitsija voi toki olla suorassa sopimussuhteessa pääurakoitsijaan; tällöin sama asia pitää sopia heidän kansaan.

IT-betonin käytöllä on positiivisiakin asioita pääurakoitsijalle; näistä yhtenä tärkeimpänä on laatu. IT-betonia käytettäessä tiheäkään raudoitus rakenteessa ei aiheuta ”rotankoloja” rakenteeseen. Täten betonoitava pystyrakenne on myös pinnaltaan laadukkaampi ja ”samalla rahalla saa enemmän”. Käytettäessä IT-betonia rakenteissa pystytään osoittamaan arkki-

tehdeille laadukas, onnistunut lopputulos. Tämä mahdollistaa rakennusten moninaisemman ja joustavamman suunnittelun kuin elementtirakentamisessa. Tällä menetelmällä betonoitaessa kyetään saamaan rakenteista AA-laatuista pintaa.

Rakennesuunnittelijoille tulee helpommaksi sijoittaa riittävä teräsmäärä rakenteeseen. Tällöin rakennesuunnittelijan ei tarvitse tehdä kompromisseja rakenteen betonoinnin onnistumiseksi. Pääurakoitsija hyötyy tästä johtuen siten, että rakenteet ovat optimoituja, jolloin teräksen kokonaismäärä tulee pieneneään merkittävästi. Tämä on suoraa kustannussäästöä.

Muottitoimittajan tulee suunnitella mahdollisesti erikoismuotteja, joista betonointi onnistuu ns. suulakkeita käyttäen. Tämä ei kuitenkaan ole mikään suuri kustannus kehityksen edetessä. Muottitoimittajan hyöty mitattaessa muottipaineita on käytännössä varmuus siitä, että järjestelmämuotin rungot ovat säilyneet kantavuutensa kaikissa valuissa. Kun nämä IT-betonilla valetut rakenteiden muottipaineet vielä dokumentoidaan, saadaan rakenteita tehtyä turvallisesti myös tulevaisuudessa. Muottitoimittajayritysten tulee ottaa huomioon tulevaisuudessa tämä uusi työtekniikka pystyrakenteiden betonoinnissa. (Yläne 23.03.2018)

Muottiurakoitsijalle säästöä tuo muottikaluston nopeampi kierto. Jos pystyrakenteiden betonointi suoritetaan iltavuorossa, niin kustannus on urakoitsijoille n. 2 €/h:n iltalissä betonityönjohtajalle. Muottiurakoitsija hyötyy myös ”kerralla kuntoon” -ajattelusta siten, että jälkityöt vähenevät merkittävästi, kun laatu paranee työssä. Tämäkin vaati tietenkin uutta ajattelua asian suhteen. Muottitoimittaja pystyy tulevaisuudessa kehittämään järjestelmiä, joilla se saa tietoa omistamiinsa muotteihin kohdistuvavasta muottipaineesta.

Betonin toimittajan/pumppausurakoitsijan kannalta iltavuoropainotteinen pystyrakenteiden betonoiminen tuo säästöä kiinteiden kulujen jakautuessa isommalle tuntimäärälle vuorokaudessa. Kaluston kuoletusaika on muutoinkin melko pitkä. Kaluston kuolettamisen jälkeen tietenkin betonin toimitusketjulle jäisi hieman käyttökattetta lisää. Kyseisen työmenetelmän käyttöönottoaminen saattaa alkuun korottaa pystyrakenteiden betonin pumppaustaksoja, koska pelätään työmäärän pumpparilla kasvavan merkittävästi. Jos ja kun työtapaa otetaan yleiseen käyttöön, niin tämäkin taantuu kuin itseksensä.

Itse tiivistyvän betonin käyttöön ottaminen pystyrakenteiden betonoinnissa toisi rakennusyriyksille merkittäviä kustannussäästöjä. Paikallavalettavien rakenteiden kilpailukyky verrattuna elementtirakentamiseen paranee. Samalla ammattitaitoisen betonoinnin osaavan työvoiman tarve pienenee merkittävästi. Betonointiin on nyt jo ollut vaikea saada kotimaisia tekijöitä työn raskauden sekä epätavallisten ja epämääräisten työaikojen johdosta.

Pystyrakenteiden työmenetelmien kehittämisellä 2010-luvulle saadaan alalle uusia toimihenkilöitä, jotka kiinnostuvat paikalla valettujen rakenteiden ohjaamisesta. Betonityönjohtajan tulee olla joka tapauksessa sitoutunut laadukkaan ja vaativan työvaiheen toteutukseen. Betonityön johtajan tulee osallistua betonointiin itsekin esim. kiinnittämällä pumpun letku valuyhteeseen tai valuputkeen. Tällä ”kasvojenkohottamisella” paikallavalusta saadaan kiinnostavaa uusien sukupolvien silmissä.

Saneerattavilla työmailla, joissa vahvistetaan runkoa joko käyttötarkoituksen muutoksen takia tai lisärakentamisen suuntautuessa ylöspäin kuormitusten kasvaessa vaatii rakenteiden manttelointia. Manttelointi betonoinneissa IT massan käyttäminen tulee lisääntymään.. Valupaineen mittaamisella voidaan optimoida nousunopeudet mantteloitavissa valukohteissa. Mittavissa saneerauskohteissa tällä valun nostonopeuden optimoinnilla tullaan saavuttamaan merkittävää ajallista ja taloudellista säästöä. Saneeraustyömaallakin arkkitehtisuunnittelulle saadaan lisää mahdollisuuksia sekä puhtasvalupintoja.

## LÄHTEET

Betoniteollisuus ry . Tietoa betonista. Haettu 18.04.2018 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/>

BY 201 (2018). Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Finnsementti Oy 9. Arvo Nykänen, talven taitaja ja suhteituksen isä. Haettu 18.04.2018 osoitteesta <http://www.finnsementti.fi/yritys/historia/arvo-nykanen-talven-taitaja-ja-suhteituksen-isa>

PERI Suomi Oy . Formwork Load Calculator. Haettu 16.04.2018 osoitteesta <http://apps.peri.com/SLR/index.php?lang=en>

Wikipedia . Salpalinja. Haettu 18.04.2018 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Salpalinja>

### Haastattelut

Isokääntä, E. (2018). Vastaava mestari YIT Rakennus Oy. Haastattelu 03.04.2018

Mattila, H. (2018). Aluejohtaja Ruskon Betoni Oy. Haastattelu 26.03.2018

Yläanne, P. (2018). Toimitusjohtaja PERI Suomi Oy. Haastattelu 23.03.2018